CLAIMS

(57) [Claim(s)]
[Claim 1] The control-grid point for operating and transforming on a computer the three-dimensions gestalt described as numeric data is set as the space for deformation. In the three-dimensions gestalt deformation approach of computer applications equipped with the control section made to transform the three-dimensions gestalt of three-dimensions space and its interior, using 3rd B spline function as a function for making the whole space distorted and making object space transform by operating the control-grid point in that case So that the insertion point of the arbitration of the real space where said three-dimensions gestalt exists is specified, and it faces inserting a new control-grid point, and it may be before and after insertion and the condition [gestalt / said / said three-dimensions space and / three-dimensions] of distortion may not change with an input unit The deformation approach of the three-dimensions gestalt by the computer control characterized by what said new control-grid point is added for by shifting the location of the control-grid point around said insertion point.

[Translation done.]

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) 公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平8－115353

(43)公開日　平成８年(1996)５月７日

(51)Int.Cl.⁶	識別記号	庁内整理番号	F I		技術表示箇所
Ｇ０６Ｆ　17/50					
Ｇ０６Ｔ　17/00					
		9191－5H	Ｇ０６Ｆ　15/ 60	６２６　Ａ	
		9191－5H		６２２　Ａ	

審査請求　有　　請求項の数１　ＯＬ　（全　５　頁）

(21)出願番号　特願平6－251717

(22)出願日　平成６年(1994)10月18日

(71)出願人　000001144
工業技術院長
東京都千代田区霞が関１丁目３番１号

(72)発明者　持丸　正明
茨城県つくば市東１丁目１番３　工業技術院生命工学工業技術研究所内

(72)発明者　河内　まき子
茨城県つくば市東１丁目１番３　工業技術院生命工学工業技術研究所内

(72)発明者　福井　幸男
茨城県つくば市東１丁目１番３　工業技術院生命工学工業技術研究所内

(74)指定代理人　工業技術院生命工学工業技術研究所長

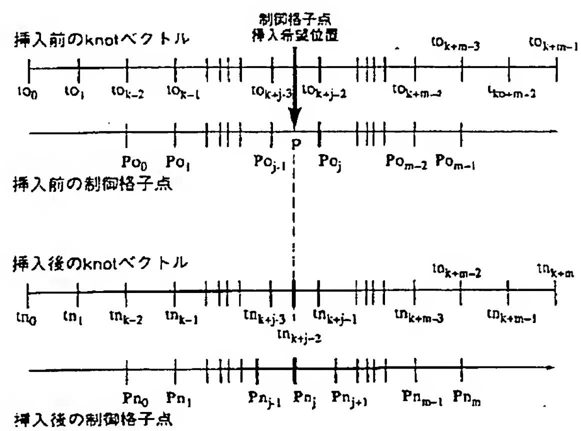
(54)【発明の名称】　コンピュータにより表示される三次元形態の変形方法

(57)【要約】

【目的】　数値データとして記述された三次元形態を、空間に設定した等間隔制御格子点の移動により変形操作するFree Form deformation 方法において、任意部位に制御格子点を設定可能にし、直感的で直接的な変形操作を可能にする。

【構成】　上記方法において、空間を変形させるための関数に B-spline 関数を用い、さらに Oslo アルゴリズムを適用して、任意の位置に制御格子点を挿入可能にする。これにより、指定した位置に新しい制御格子点が挿入され、挿入点の周辺の格子点を微小移動させることによって、挿入に伴う空間の歪みが相殺される。

【効果】　特定の部位を局所的に変形したい要求がある場合に、その特定部位に直接制御格子点を設定でき、直感的で直接的な変形操作が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】数値データとして記述された三次元形態をコンピュータ上で操作、変形するに際し、変形対象空間に制御格子点を設定し、その制御格子点を操作することによって空間全体を歪ませ、その際に対象空間を変形させるための関数として3次のB-spline 関数を用いて空間内の三次元形態を変形させる方法において、 Osloアルゴリズムの適用により実空間の任意の位置に制御格子点を挿入可能にしたことを特徴とするコンピュータにより表示される三次元形態の変形方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、数値データとして記述された三次元形態をコンピュータ上で操作、変形するための形態変形方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】数値データとして記述された三次元形態をコンピュータ上で操作、変形する技術として、Free Form deformation 法（以下、ＦＦＤ法という。）がある（Sederberg,T.W.: Free Form deformation of Solid Geometric Models,Proceedingsof ACM SIGGRAPH '86 in Computer Graphics,20(4),151-160(1986)）。これは、変形対象空間に制御格子点を設定し、その制御格子点を操作することによって空間全体を歪ませ、空間内の三次元形態を変形させる方法である。

【0003】図6の（a），（b）に、このＦＦＤ法による変形の一例を示す。ＦＦＤ法では、空間を変形させるための関数として、Bernstein 関数を利用しているが、このBernstein 関数では、変形対象空間に制御格子点を配置しただけで、空間が微妙に歪んでしまうと言う欠点がある。図6の（a）は、Bernstein 多項式に基づくＦＦＤ法による変形前の状態を、同図（b）は変形後の状態を示している。

【0004】このＦＦＤ法の欠点を解決するために、3次の B-spline 関数を利用した方法がすでに提案されている（Hsu,W.H.,Hughes,J.F.,Kaufman,H.: Direct Manipulation of Free-Form Deformation, Computer Graphics,26(2),177-184(1992)）。この B-spline 関数利用の方法では、制御格子点を変形のために移動させない限り不必要な歪みは生じない。

【0005】しかしながら、この3次 B-spline 関数利用のＦＦＤ法でも、変形対象空間に最初に設定する制御格子点は、必ず等間隔に配置されなければならない、という制約があった。それは、制御格子点を不等間隔に配置すると、制御格子点を全く移動しなくても空間が歪んでしまうためである。したがって、従来のＦＦＤ法では、局所的な変形を施したい箇所に制御格子点を設定できないと言う重大な問題点があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述した従来技術の問題点を解決するためのもので、その技術的課題は、3次の B-spline 関数に制御点を追加挿入する Oslo アルゴリズムを適用し、実空間内の任意の位置に新しい制御格子点を設定可能にすることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段・作用】上記課題を解決するため、本発明の三次元形態の変形方法は、数値データとして記述された三次元形態をコンピュータ上で操作、変形するに際し、変形対象空間に制御格子点を設定し、その制御格子点を操作することによって空間全体を歪ませ、その際に対象空間を変形させるための関数として3次の B-spline 関数を用いて空間内の三次元形態を変形させる方法において、 Oslo アルゴリズムの適用により実空間の任意の位置に制御格子点を挿入可能にしたことを特徴とするものである。

【0008】本発明の方法について更に具体的に説明すると、対象空間を変形させるための関数に3次の B-spline 関数を用いたＦＦＤ法において、離散的なn個の制御格子点P_i から、実空間座標を計算する場合、媒介変数tを利用することにより、その実空間座標$C(t)$は、次の式（1）で求めることができる。

【0009】

【数1】

$$C(t)=\sum_{i=0}^{n} N_{i,k}(t)P_i \qquad \text{式（1）}$$

【0010】ここで、$N_{i,k}(t)$は、k階の B-spline 関数で、媒介変数tの関数として、式（2）で定められている。また、媒介変数tは、 knot ベクトル空間 $\{t_i\}$ 上の実数値である。 knot ベクトル $\{t_i\}$ は、制御格子点と関係づけられた離散的な数列である。

【0011】

【数2】

$$N_{i,1}(t)=\begin{cases}1 & (t_i \leq t \leq t_{i+1})\\ 0 & (\text{else})\end{cases}$$

$$N_{i,k}(t)=\frac{(t-t_i)N_{i,k-1}(t)}{t_{i+k-1}-t_i}+\frac{(t_{i+k}-t)\,N_{i+1,k-1}(t)}{t_{i+k}-t_{i+1}} \qquad \text{式（2）}$$

【0012】制御格子点P_iが移動しても、 knot ベクトル$\{t_i\}$は変化しないため、媒介変数tに対応する実空間座標C(t)は、制御格子点$\{P_i\}$の移動によって任意の位置に変換されることになる。ここで、制御格子点が等間隔に配置されていれば、 knot ベクトル$\{t_i\}$も等差数列となり、媒介変数tは knot 間を線形に移動して、実空間座標を表すことになる。この場合、制御格子点を適用しただけでは、図2に示すように空間の歪みは生じない。図2は、 B-spline 関数に基づくＦＦＤ法による等間隔制御格子点の設定態様を表すものであるが、本発明の方法は、この図2の状態から、実空間上の任意の位置に、新しい制御格子点を挿入するものである。

【0013】次に、実空間上の任意の位置に制御格子点を挿入する態様を表した図1を参照し、 Oslo アルゴリズムを適用して任意の位置に制御格子点を挿入する方法について説明する。いま、図1において、実空間のpの位置に新しい制御格子点を挿入したいとする。この場合、挿入後の knot ベクトル$\{tn_i\}$は、式（3）によって計算することができる。

【0014】

【数3】

$$
tn_i = \begin{cases} to_i & (0 \leqq i \leqq k+j-3) \\[2ex] \dfrac{(to_i - to_{i-s})\,p + to_{i-s}\,Po_{i-k} - to_i\,Po_{i-1-k}}{Po_{i-k} - Po_{i-1-k}} & (i = k+j-2) \\[2ex] to_{i-1} & (k+j-2 \leqq i \leqq m) \end{cases} \qquad \text{式（3）}
$$

【0015】挿入後の制御格子点位置$\{Pn_i\}$は、挿入前の制御格子点位置$\{Po_i\}$と上式で得られる knot ベクトル値$\{tn_i\}$から式（4）によって計算することができる。

【0016】

【数4】

$$
Pn_i = \begin{cases} Po_i & (0 \leqq i \leqq j-2) \\[2ex] \dfrac{tn_{k-1+i} - tn_{k-2+i}}{tn_{k-1+i} - tn_{k-5+i}}\,Po_{i-1} + \dfrac{tn_{k-2+i} - tn_{k-1+i}}{tn_{k-5+i} - tn_{k-1+i}}\,Po_i & (j-1 \leqq i \leqq j+1) \\[2ex] Po_{i-1} & (j \leqq i \leqq m) \end{cases} \qquad \text{式（4）}
$$

【0017】図1に示すように、挿入後の全制御格子点数はm＋1個となり、新しく挿入されたPn_jの制御点位置は、挿入予定位置であるpと一致する。ただし、制御格子点挿入に伴う局所的な歪みを解決するために、Po_{j-1}はPn_{j-1}にPo_jはPn_{j+1}に微小移動することになる。このようにして新しく定められた制御格子点座標$\{Pn_i\}$は、挿入した制御格子点の近傍の格子点を微小移動させることにより、不等間隔によって生じる空間の歪み問題を解決している。したがって、制御格子点を挿入するだけでは、対象空間は一切歪まず、制御格子点の移動によってのみ変形が生じることになる。

【0018】挿入後は、制御格子点位置$\{Pn_i\}$と knot ベクトル$\{tn_i\}$より、式（1）にしたがって実空間上の任意の座標値C(tn)を計算することができる。また、ここで制御格子点位置$\{Pn_i\}$を移動させれば、その移動量に応じ、実空間座標C(tn)が変形することになる。このように、本発明の方法によれば、三次元形態の任意の指定位置に新たに制御格子点を設けることができ、それに伴って挿入点の周辺の格子点を微小移動させることにより挿入に伴う空間の歪みが相殺され、直感的な形態変形操作が可能となる。

【0019】

【実施例】実施例として、人の標準的な足部の三次元形態を扁平な足形態（扁平足形態）に変換する形態変形操作例を示す。変形対象となる足形態は、図3（a）に示すようなもので、市販されている靴が適合しやすい標準的な足部形態の典型例である。この形態を変形操作して、図3（b）に示すような変形目標の扁平足形態に近づけることを考える。

【0020】ここでは、足部形態を含む三次元空間に、従来の B-spline 式ＦＦＤ法に基づき、40mm間隔の制御格子点を定義した（図4（a））。この制御格子点を移動させることにより、標準的な足形態を操作することができる（図4（b））。しかしながら、最終的に形態を近づけたい扁平な足形態の側方の突出部付近に制御格子点がないため、足を前方から見た平面内（医学的前額面内）の形状を一致させることが難しい（図5）。

【0021】そこで、本発明の形態変形方法により、上記式（1）～（4）にしたがって、既存の等間隔の制御点の間に、新たに制御点を挿入する。これは、足形態を記述している実空間内で挿入できるため、突出部の位置をマウスでクリックするだけで、新しい制御格子点を希望する位置に挿入することができる。特に、形態の特徴が良く現れる突出部に合わせて、新しい制御格子点を挿入することにより、図5（b）のように、目標の形態に近い形に容易に変形することができる。

【0022】

【発明の効果】数値データとして記述された三次元形態

を、空間に設定した等間隔制御格子点の移動により変形操作するFree Form deformation 方法に基づき、コンピュータにおいて表示する図形の形態変形操作を行う産業分野においては、変形を行いたい特定部位に直接制御格子点を新たに設定し、直感的で直接的な変形操作を行えるようにすることの要求が多い。これは、対象を変形させる際の意匠において、特定の部分を変形させせたい場合、周辺の制御格子点をうまく調整しながら変形操作を行うより、変形させたい場所に格子点を挿入し、操作した方が直感的であることによる。

【0023】しかるに、ここで詳述した本発明の形態変形方法によれば、特定部位に直接制御格子点を設定可能にしたので、さまざまな工業デザイン分野等において、特定の部位を局所的に変形したい欲求がある場合に、設計者の意匠を直感的に変形操作に結びつけるような三次元形態変形を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によって、実空間上の任意の点に制御格子点を挿入する様子を表した説明図である。

【図2】Hsu らによって提案されている B-spline 関数に基づくＦＦＤ法による等間隔制御格子点の設定について示す説明図である。

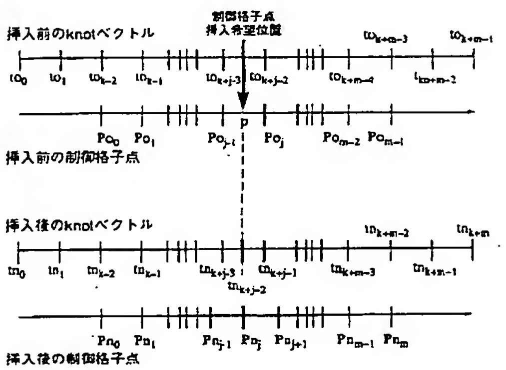
【図3】本発明を適用する三次元形態（足形態）の一例を示したもので、（ａ）は形態変形を行う対象形態を、（ｂ）は変形目標形態を示す説明図である。

【図4】上記三次元形態についての等間隔の制御格子点のみによる変形操作結果を示すもので、（ａ）は変形前の形態を、（ｂ）は等間隔の制御格子点のみで変形した形態を、（ｃ）は目標形態を示す説明図である。

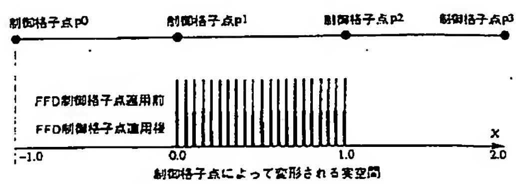
【図5】本発明の方法を適用して、上記足形態の特徴的な部位に新しい制御格子点を挿入し、実際に変形操作を行った結果を示すものであり、（ａ）は等間隔制御格子のみにより変形した形態を、（ｂ）は挿入した制御格子点で再変形した形態を、（ｃ）は変形目標の形態を示す説明図である。

【図6】従来から知られているBernstein 多項式に基づくＦＦＤ法による変形の態様を表すもので、（ａ）は変形前の形態を、（ｂ）は変形後の形態を表す説明図である。

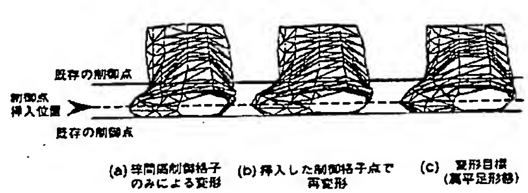
【図1】



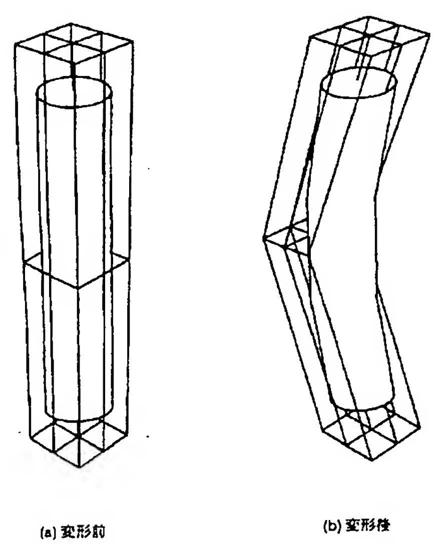
【図2】



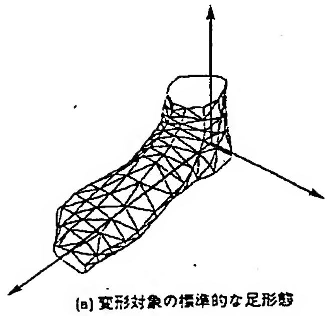
【図5】



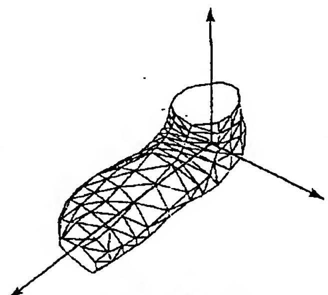
【図6】



【図3】

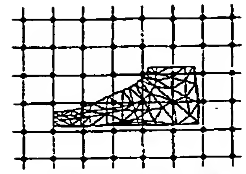


(a) 変形対象の標準的な足形態

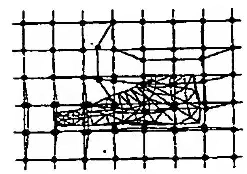


(b) 変形目標の扁平足形態

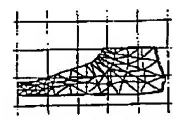
【図4】



(a) 変形前（標準足形態）



(b) 等間隔の制御格子点のみで変形



(c) 変形目標（扁平足形態）